

90. Опыт проведения модернизации установок металлизации по технологии «Мидрекс» на Оскольском электрометаллургическом комбинате / Д.В. Мехряков, В.Г. Грезнев, И.В. Малей, С.В. Петров, М.Я. Фахрутдинов // Сталь. 2015. № 3. – С. 25–27.

91. Роторно-вихревые установки для тепловой обработки шихтовых материалов металлургического передела / Е.Г. Подковыркин, Н.Г. Коршунова, А.В. Баков, В.Л. Советкин, В.И. Матюхин // Сталь. 2015. № 3. – С. 98–99.

УДК 669.1.01.536.4

Б. А. Боковиков¹, В. В. Брагин¹, А. А. Солодухин¹, В. С. Швыдкий², Ю. Г. Ярошенко²

¹ ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург, Россия;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Аннотация

Описано развитие математических моделей, учитывающих всю полноту протекания теплофизических процессов при производстве окатышей. Выполнено сопоставление решения «задачи Шумана» с результатами математического моделирования тепловой работы слоя на реальной обжиговой машине. Показано, что в отличие от классической задачи, где теплообмен в слое быстро стабилизируется и безразмерная скорость тепловой волны $\Delta Y/\Delta Z$ стремится к единице, на обжиговой машине, вследствие наличия двух тепловых волн (от газа – теплоносителя из горна и за счет экзотермической реакции окисления магнетита), теплообмен в слое стабилизируется медленнее и только в конце нагревательной части машины. Постепенная стабилизация теплообмена по длине машины облегчает определение длины зоны тепловой инерции и оптимизацию температурно-фильтрационного режима на обжиговой машине.

Максимальный прогрев низа слоя при равном расходе топлива будет достигнут в случае сосредоточения подачи высокотемпературного теплоносителя перед зоной тепловой инерции и в самом ее начале. Это обеспечивает резерв повышения производительности машины и снижения удельного расхода топлива при заданном качестве обожженных окатышей.

Определена количественная взаимосвязь выбросов на трубу и энергоэффективность обжиговых машин. Показано, что соотношение площадей отдельных технологических зон, является одним из основных факторов, определяющим показатели удельного расхода топлива и производительности машины. В первую очередь, это касается первой секции зоны сушки с продувом теплоносителя. Результаты математического моделирования показали, что площадь первой секции сушки имеет оптимум, которому соответствует наименьшая общая продолжительность процесса сушки.

Всесторонняя детальная проработка, включающая изучение физико-химических процессов обжига сырых окатышей с учетом тепловых и геометрических особенностей обжиговой машины, и выполнение перечисленных в статье условий легли в основу разработки принципиально новой теплотехнической схемы отечественной обжиговой машины четвертого поколения, не имеющей аналогов в мире, на которой к настоящему времени достигнуты передовые технико-экономические показатели производства железорудных окатышей по удельной производительности ($1,07 \text{ т/м}^2\text{ч}$), расходу природного газа (не более $10 \text{ м}^3/\text{т}$) и электроэнергии (не более $36 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$), а также минимальные выбросы дымовых газов ($1750 \text{ нм}^3/\text{т}$). При этом обеспечен технологический резерв, необходимый для

управляемости процессами сушки, обжига и охлаждения в условиях действующего производства.

Ключевые слова: тепло-массообмен, теплообмен в слое, железорудные окатыши, тепловая волна, зона инерции, конвейерная машина, тепловая схема, математическая модель, технико-экономические показатели, расход топлива, качество окатышей, энергоэффективность.

Abstract

The article describes the development progress of numerical simulation (mathematical) models, which take into account the entire flow of thermal and physical processes during pellet production. Authors have compared the solution of the Schumann task with the results of numerical simulation of the thermal performance of a pellet bed in an operating indurating machine. It was shown that, in contrast to classical Schumann task where the heat transfer in a bed stabilizes rapidly, and the dimensionless heat wave speed $\Delta Y/\Delta Z$ tends to one, in an indurating machine, due to the presence of two heat waves (from a gas-heat medium from the indurating hood, and due to the exothermic magnetite oxidation), heat transfer in a pellet bed stabilizes slower and only at the end of the preheating/firing zones of the machine. The gradual stabilization of the heat transfer along the machine makes it easier to determine the length of the thermal inertia zone and optimize the temperature settings and gas-through-bed filtration velocity parameters in an indurating machine.

Maximum heat-up of the bottom layer of the pellet bed with equal fuel consumption will be achieved if the high-temperature heat medium is fed mostly before the thermal inertia zone and at its very beginning. This feature provides a margin for machine capacity (productivity) increase and for the reduction of specific fuel consumption at the given quality of fired pellets.

A quantitative relationship between the emissions to a waste gas stack and energy efficiency of indurating machines has been established. It was shown that the ratio between the areas of process zones is one of the main factors determining the specific fuel consumption values and the machine capacity (productivity). Foremost, this is related to the first sub-zone of the drying zone with the updraught of the heat medium. Numerical simulation results indicated that the area of the first sub-zone of the drying zone has the drying optimum, which corresponds to the lowest total duration of the drying process.

Comprehensive detailed study including the study of physical and chemical processes of pellet firing (induration), taking into account the thermal and geometric features of an indurating machine and the fulfillment of conditions listed in the article formed the basis for the development of the fundamentally new thermal circuit for a domestic (Russian) indurating machine of the fourth generation, which is unrivaled throughout the world. The indurating machine with this new thermal circuit has achieved the following key performance indices: specific iron ore pellet production rate ($1.07 \text{ t/m}^2\text{h}$), consumption of natural gas (not more than $10 \text{ m}^3/\text{t}$) and power (not more than 36 kWh/t), as well as low off-gas emissions ($1750 \text{ nm}^3/\text{t}$). Meanwhile, the process margin required for manageability of drying, firing and cooling processes has been provided in the conditions of an existing plant.

Key words: heat-mass transfer, heat transfer in a pellet bed, iron ore pellets, heat wave, inertia zone, straight-grate indurating machine, numerically simulated model, fuel consumption, quality of pellets, energy efficiency, thermal circuit, key performance indicators

Одно из направлений развития черной металлургии России связано с совершенствованием существующих технологий и оборудования на всех стадиях металлургического производства, направленное на энергосбережение и снижение вредных выбросов в окружающую среду. Оно распространяется и на отрасль металлургии, связанную с переработкой железорудного сырья [1]. За рубежом также анализируются подобные технологии [2].

Создание современной обжиговой конвейерной машины (ОКМ), невозможно без математического моделирования теплообменных процессов в неподвижном слое при перекрестной схеме движения теплоносителя и точного учета физико-химических явлений.

Первая модель, получившая название «модели Шумана», была создана при условии постоянства температуры газа на входе в слой и при неизменных теплофизических свойствах газа и материала слоя [3]. Эта модель впервые была применена в металлургии для анализа процессов теплообмена агломерационной шихты в неподвижном слое [4]. Подробный анализ и развитие решений этой задачи представлен в монографиях [5, 6].

Для анализа тепловых процессов при обжиге окатышей представляет интерес формирование и движение тепловой (температурной) волны вдоль обжиговой конвейерной машины, оцениваемое безразмерная скоростью – V_t :

$$V_t = \frac{\Delta Y}{\Delta Z} = \frac{\Delta H}{\Delta \tau} \cdot \frac{c_M \rho_M}{w_\Gamma c_\Gamma}, \quad (1)$$

где $Y = \frac{\alpha_v H}{w_\Gamma c_\Gamma}$ – критерий высоты слоя, $Z = \frac{\alpha_v \tau}{c_M \rho_M}$ – критерий времени нагрева слоя; α_v – коэффициент теплоотдачи, отнесённый к единице объёма слоя, Вт/м³К; H – высота слоя, м; w_Γ – скорость потока газа на свободное сечение аппарата, м/с; c_Γ – теплоемкости газа, Дж/м³ К; c_M – теплоемкость материала Дж/кг К; ρ_M – насыпная масса материала на единицу объема слоя, кг/м³; τ – время, с.

Результаты расчета движения тепловой волны $\Delta Y/\Delta Z$ от времени для условий «задачи Шумана» и различных уровней прогресса слоя представлены на рис. 1.

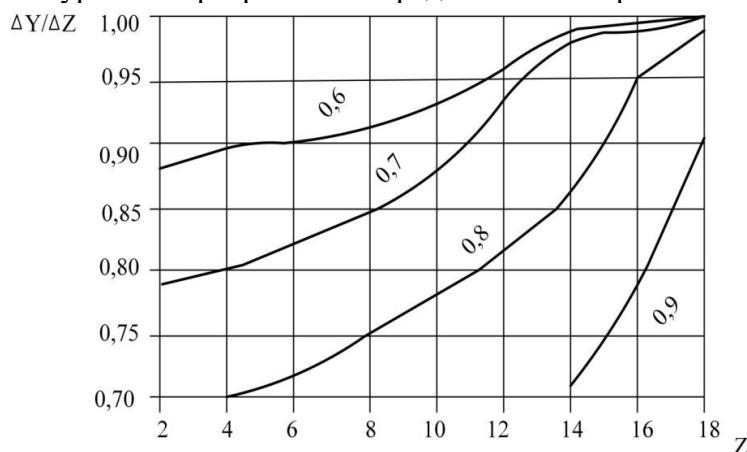


Рис. 1. Зависимость скорости движения тепловой волны $\Delta Y/\Delta Z$ от безразмерного времени Z в задаче Шумана

(цифры на кривых значения относительной температуры материала

$\Theta_M = \frac{t_M - t'_M}{t'_\Gamma - t'_M}$, где t'_Γ – температура газа, а t'_M – температура материала в начальный момент времени)

Из анализа этих данных следует, что безразмерная скорость движения тепловой волны на всех уровнях прогресса слоя со временем стремится к единице.

Математическая модель ВНИИМТ–УПИ [7], развивая теплофизические идеи «задачи Шумана», учитывала тепловые эффекты физико-химических процессов, при этом была учтена и критика модели «задачи Шумана» [6]. Разработанная модель ВНИИМТ–УПИ была использована при совершенствовании тепловых схем обжиговых машин СССР.

Интенсификации технологических процессов обжига окатышей и снижения энергетических затрат на производство требовали более глубокого анализа теплофизических процессов, для чего была разработана комплексная математическая модель технологии обжига окатышей, отвечающая требованиям максимальной адекватности реальным теплофизическим и физико-химическим процессам, протекающим в слое при обжиге железорудных окатышей [8, 9].

За период с 1991 по 2012 г. сотрудниками НПВП ТОРЭКС при участии сотрудников и аспирантов кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» УГТУ–УПИ, ныне УрФУ,

были созданы методики лабораторных и промышленных теплофизических исследований и комплексная математическая модель обжиговой конвейерной машины [10, 11]. Математические модели процесса обжига, разработанные за рубежом [12, 13], не учитывают весь комплекс теплофизических процессов, протекающих при обжиге окатышей, и могут быть использованы лишь для конкретного агрегата при узком изменении входных параметров, что не отвечает современным требованиям к моделированию сложных тепловых и массообменных процессов [14, 15].

Для сравнения рассчитанных скоростей движения тепловой волны (см. рис. 1) с представлениями о скорости движения подобной волны в реальных условиях обжига окатышей были экспериментально и аналитически изучены процессы нагрева слоя шихты для условий работы ОКМ Оскольского электрометаллургического комбината площадью 480 м² [11]. Полученные термограммы (рис. 2) имеют качественное подобие с решениями задачи Шумана (рис. 1) только в пределах зоны сушки (примерно 25 м). За ее пределами, даже в области относительно постоянной температуры на поверхности слоя, термограммы усложняются, что может быть объяснено наличием значительного по мощности теплового источника в объеме слоя за счет экзотермического эффекта реакции окисления магнетита в окатышах.

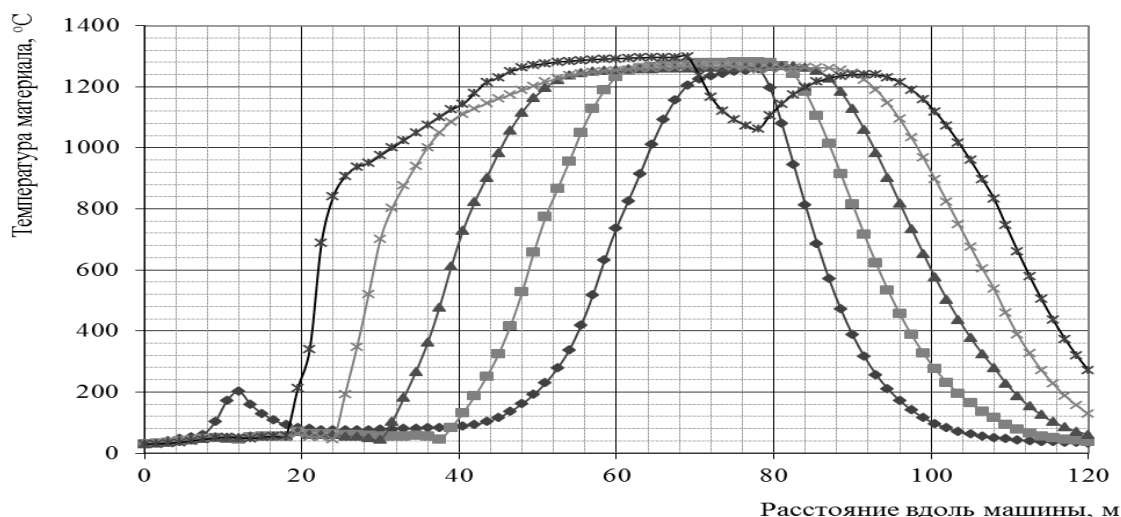


Рис. 2. Результаты расчета теплового состояния слоя работающей ОКМ
(цифры у кривых – расстояние от колосников:
1 – 100 мм; 2 – 180 мм; 3 – 260 мм; 4 – 340 мм; 5 – 420 мм)

Информация о тепловом состоянии слоя при обжиге окатышей, представленная на рисунке 2, была использована для расчета безразмерных параметров тепло- массообменных процессов слоя: критерия высоты – Y , и критерия времени – Z , и далее – для установления зависимостей безразмерной скорости движения тепловой волны – $\Delta Y/\Delta Z$, от безразмерного времени – Z для уровней прогрева слоя, характерных для рисунка 1. Итог этой части исследования отражен на рисунке 3.

Из сравнения данных (рис. 1 и 3) следует, что для реального слоя окатышей на ОКМ вид связи $\Delta Y/\Delta Z = f(Z)$ существенно отличается. Это различие определяется постепенным развитием, а затем затуханием экзотермической реакции окисления магнетита по длине машины на отрезке от 30 до 60 м (рис. 2), что соответствует интервалу времени $Z = 6 \div 10$. Именно в этом диапазоне времени ($Z = 6 \div 10$) особенно заметно уменьшение скоростей тепловой волны.

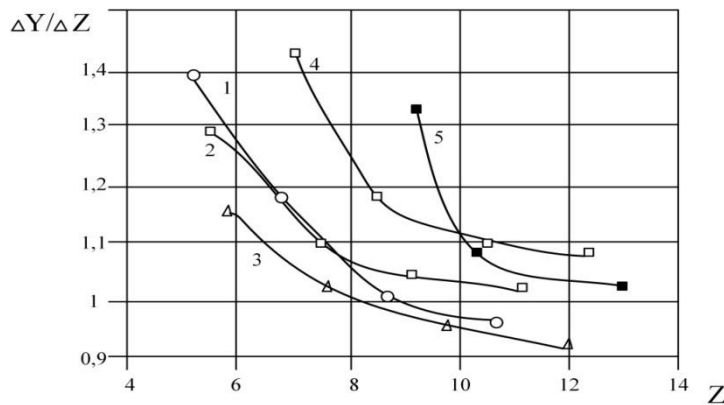


Рис. 3. Зависимость скорости движения тепловой волны $\Delta Y/\Delta Z$ от безразмерного времени Z в слое окатышей на обжиговой машине (кривые при: 1 – $t_m=400$ °C, $\Theta_m=0,32$; 2 – $t_m=600$ °C, $\Theta_m=0,48$; 3 – $t_m=800$ °C, $\Theta_m=0,63$; 4 – $t_m=1000$ °C, $\Theta_m=0,79$; 5 – $t_m=1100$ °C, $\Theta_m=0,87$)

Результаты анализа теплового состояния слоя реальной обжиговой машины, приведенные на рис. 3, указывают на то, что скорость тепловой волны к концу нагревательных зон машины (при $Z > 10$) стабилизируется. Следовательно, определение длины зоны тепловой инерции – (ЗТИ), по расчетным термограммам значительно упрощается и может быть выполнено без усреднения скорости фильтрации на участке длины машины, соответствующей длине ЗТИ. Тем более, что для практических условий требуется вычисление длины ЗТИ с точностью до длины одной вакуум-камеры.

Роль зоны тепловой инерции на обжигowych машинах, определяющей удельный расход топлива и прогрев низа слоя, достаточно проиллюстрирована в монографии [10]. Здесь же целесообразно рассмотреть этот вопрос в связи со скоростью движения тепловой волны по высоте слоя.

Насыпной слой окатышей высотой 300–400 мм обладает значительной тепловой инерцией, и, чем ближе характер теплообмена к «завершенности», характеризуемой степенью приближения температуры низа слоя к максимальной температуре теплоносителя в горне машины, тем более ярко выражено явление образования в слое тепловой или температурной волны. Скорость движения этой волны (V_t) и определяет момент максимального нагрева низа слоя при прочих равных условиях. Следовательно, по ходу движения конвейера обжиговой машины перед зоной охлаждения существует зона тепловой инерции, в которой начальная температура теплоносителя, в отличие от скорости фильтрации, практически не влияет на конечный прогрев низа слоя. При этом максимальный прогрев низа слоя при том же расходе топлива может быть достигнут в случае сосредоточения подачи высокотемпературного теплоносителя перед ЗТИ и в самом ее начале. Это обеспечит резерв роста производительности машины и снижения удельного расхода топлива при заданном качестве обожженных окатышей.

Для определения скорости тепловой волны – V_t , может быть использовано выражение, полученное в результате преобразования теплового баланса для элемента слоя единичной площади, толщиной Δy за время $\Delta \tau$ для условий окислительного обжига окатышей, т.е. при наличии внутреннего распределенного по высоте источника теплоты в слое:

$$V_t = \frac{\Delta y}{\Delta \tau} = \frac{W_g C_g}{\rho_m C_m} \cdot \frac{\Delta T_g}{\Delta t_m} \cdot \frac{1}{1 - \frac{q_{ок}}{C_m} \cdot \frac{\Delta \varphi_{ок}}{\Delta t_m}}, \quad (2)$$

где ρ_m – насыпная плотность окатышей, кг/м³; C_m – теплоемкость окатышей, Дж/кг К; Δt_m – изменение температуры окатышей за время $\Delta \tau$; W_g – скорость фильтрации, м/мин; C_g – теплоемкость газа, Дж/м³ К; T_g – изменение температуры газа на высоте Δy , К/м; $q_{ок}$, – удельная теплота реакции окисления, Дж/кг FeO; $\Delta \varphi_{ок}$ – изменение степени окисления окатышей за время $\Delta \tau$, доли/мин.

Подстановка численных значений величин, входящих в выражение (2), показала, что скорость движения тепловой волны увеличивается за счет теплоты окисления магнетита в 1,5–2,0 раза. Для реальной обжиговой машины оперативно определить скорость движения тепловой волны в слое расчетным путем по соотношению (2) практически невозможно.

Для определения скорости движения тепловой (температурной) волны целесообразно использовать экспериментальные термограммы, получаемые путем закладки гибких термодатчиков по высоте слоя, или расчетные термограммы, получаемые с помощью адаптированной математической модели. Если эти термограммы строго соответствуют полной высоте слоя H , то скорость движения тепловой волны определится соотношением:

$$V_t = H \cdot U_L / \Delta L, \quad (3)$$

где H – полная высота слоя, м; U_L – скорость движения ленты, м/с; ΔL – длина зоны тепловой инерции, м.

Отсюда длина зоны тепловой инерции равна:

$$\Delta L_{\text{зти}} = \Delta L = H \cdot U_L / V_t. \quad (4)$$

Строго говоря, выражение (4) справедливо лишь в случае, когда на участках $\Delta L_{\text{зти}}$ одинаковы скорость фильтрации и скорость окисления магнетита, как это следует из (2).

Всесторонняя детальная проработка, включающая изучение физико-химических процессов обжига сырых окатышей с учетом тепловых и геометрических особенностей обжиговой машины [16, 17], легли в основу разработки принципиально новой теплотехнической схемы отечественной обжиговой машины четвертого поколения (рис. 4), не имеющей аналогов в мире [18].

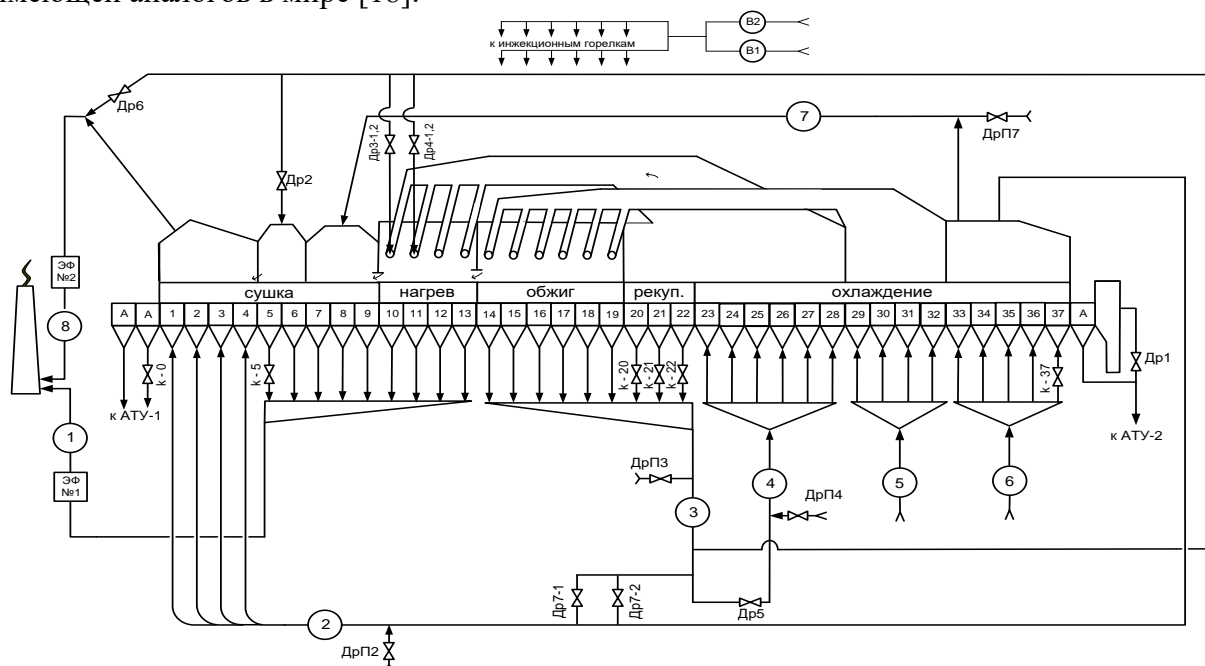


Рис. 4. Тепловая схема обжиговой машины МОК-1-592

Обжиговая машина МОК-1-592М введена в эксплуатацию в 2016 г. в ПАО «Михайловский ГОК». В ней максимально применены технические решения и элементы тепловой схемы, ранее реализованные и апробированные на действующих обжиговых машинах №1 и №2 горно-обогатительного комбината [17, 19, 20].

К настоящему времени на новой обжиговой машине достигнуты передовые технико-экономические показатели производства железорудных окатышей по удельной производительности (1,07 т/м²·ч), расходу природного газа (не более 10 м³/т) и электроэнергии (не более 36 кВт·ч/т), а также минимальные выбросы дымовых газов (1750 м³/т) [21]. При этом обеспечен технологический резерв, необходимый для управления процессами сушки, обжига и охлаждения для обеспечения качества окатышей на уровне лучших мировых аналогов [20].

Успешное воплощение в новом промышленном объекте передовой энергоэффективной технологии окускования тонкоизмельченного концентрата, именно в нашей стране, стало

результатом преемственности и плодотворной кооперации уральской школы теплофизики и современной инжиниринговой компании, активно работающей на международном рынке.

Таким образом, математическое моделирование тепловых и физико-химических процессов в технологии обжига окатышей составили научную базу для создания инновационной тепловой схемы обжиговой машины. Реализация тепловых режимов на новой обжиговой конвейерной машине и ее длительная эксплуатация во времени с сохранением высоких технико-экономических и экологических показателей производства характеризуют новую технологию как передовую на современном этапе развития производства обожженных окатышей.

Список использованных источников

1. Стратегия развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года. Приказ Министра промышленности и торговли Российской Федерации от 05.05.2014 № 839.
2. Zhang Fuming, Wang Qusheng, Han Zhiguo. Innovation and Application on Pelletizing Technology of Large Traveling Grate Induration Machine. AISTech 2015 Proceedings/ Vol.1, P. 402–412.
3. Schumann T.E. Heat transfer a liquid flowing a porous prism. Journal of the Franklin Institute, vol. 208, September, 1929. – p. 405–416.
4. Братчиков С.Г., Базилевич С.В., Ярошенко Ю.Г., Майзель Г.М. Анализ теплообменных процессов при агломерации // Изв. Вузов. Черная металлургия. 1963. №8. – С. 47–53.
5. Kitaev B.I., Yaroshenko Yu. G., Suchkov V.D. Heat Exchange in Shaft Furnaces Oxford: PERGAMON PRESS. 1967. – P. 301.
6. Тепло- и массообмен в плотном слое / Б.И. Китаев, В.Н. Тимофеев, Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, В.С. Швыдкий и др. – М.: Металлургия, 1972. – 432 с.
7. Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем / Я.М. Гордон, Б.А. Боковиков В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Металлургия, 1991. –184 с.
8. Стратегия создания тепловых схем обжиговых конвейерных машин // В.М. Абзалов и др. // Сталь. 2010. № 9. – С. 10–12.
9. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата / Б.А. Боковиков и др. // Сталь. 2010. № 9. – С. 33–37.
10. Теплофизические закономерности термообработки железорудных окатышей на конвейерной машине (математическое моделирование) / Б.А. Боковиков, В.В. Брагин, С.Н. Евстюгин и др. – Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2013. – 200 с.
11. Тепловая работа обжиговых конвейерных машин. / В.М. Абзалов, С.Н. Евстюгин, В.И. Клейн // Типография «Уральский центр академического обслуживания», Екатеринбург. 2012, 248 с.
12. Development and application of pellet induration model / Bayard Beling Morales, André Carlos Contini, Leonardo Barboza Trindade, Luiz Felipe Kusler Possani, Anderson Willian de Souza Baltazar, Magno Rodrigues Ribeiro // Technical contribution to the 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI. Rio de Janeiro. 2012. P. 61–68.
13. Mathematical models of iron ore pellet induration-validation and application / Cross M.A., Bogren E.C., Wakeman J.S., Frans R.D., // Appl. Math. and Phys. Models Iron and Steel Ind. Porc. 3rd Process Techonol. Conf., Pittsburgh, Pa, 28–31 March, 1982. Vol. 3, New York, N.Y., 1982. – P 101–109.
14. Development of sintered pellets made of blast furnace flue dust and blast furnace sludge. / Susanta Pramanik, Swapan Kumar Mitra, Prince Kumar Singh // Technical contribution to the 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI. Rio de Janeiro. 2012. P. 1289–1298.

15. Improving the granulating and sintering performance by pretreating specularite concentrates through mechanical activation. / Pan Jian, Zhu De-qing, Eider.dutra, Zhou Xian-lin // Technical contribution to the 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI. Rio de Janeiro. 2012. P. 1379–1388.

16. Физико-химические и теплотехнические основы производства железорудных окатышей. В.М. Абзалов, В.А. Горбачев, С.Н. Евстюгин, В.И. Клейн и др. / Под ред. акад. Л.И. Леонтьева. – Екатеринбург: Межрегиональный издательский центр, 2015. – 340 с.

17. К вопросу о перспективах совершенствования тепловых схем обжиговых машин в ОАО «Лебединский ГОК» / В.М. Абзалов, С.Н. Евстюгин, В.А. Горбачев и др. // Сталь. 2005. №5. – С.12–14.

18. Разработка обжиговой конвейерной машины нового поколения / В.М. Абзалов, В.В. Брагин, А.А. Вяткин, С.Н. Евстюгин, С.Н. Лелеко // Сталь. 2008. № 12. – С. 13–14.

19. Модернизация обжиговых машин ОК–520 ОАО Михайловский ГОК / В.М. Абзалов, Б.И. Борисенко, В.В. Брагин, В.П. Бруев, В.Н. Неволин // Сталь. 2005. № 2. – С. 3–4.

20. Эффективность модернизации фабрики окомкования ОАО “Михайловский ГОК” / В.М. Абзалов, Б.И. Борисенко, В.В. Брагин, С.Н. Евстюгин, Н.Н. Копоть, С.И. Кретов, В.Н. Неволин // Сталь. 2006. № 6. – С. 9–10.

21. Минимизации сбросов на дымовую трубу – путь к повышению энергоэффективности обжиговых конвейерных машин / Б.А. Боковиков, В.В. Брагин, А.А. Солодухин, Ю.Г. Ярошенко // Сталь. 2016. № 8. – С. 81–84.

УДК 628.8

В. В. Бухмиров, М. В. Пророкова

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Аннотация

Выполнен обзор методов расчета параметров микроклимата. Приведена математическая модель процессов теплообмена при формировании микроклимата в помещении, предназначенном для длительного пребывания человека. Выполнена проверка адекватности математической модели путем сравнения результатов расчета параметров внутренней среды в программно-вычислительном комплексе ANSYS Fluent с данными эксперимента.

Ключевые слова: параметры микроклимата, теплообмен, математическое моделирование, экспериментальное исследование микроклимата.

Abstract

A review of methods for calculating the microclimate parameters has been performed. A mathematical model of the processes of heat and mass transfer occurring in a room intended for long-term human stay is presented, while forming a microclimate. The adequacy of the mathematical model is checked by comparing the calculation results for the parameters of the internal environment in the ANSYS Fluent with the experimental data.

Key words: microclimate parameters, heat and mass transfer, mathematical modeling, experimental study of microclimate

Расчет параметров внутренней среды помещений, предназначенных для длительного пребывания человека, является актуальной задачей при оценке эффективности работы систем энергоснабжения зданий, формирующих микроклимат